МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

КАФЕДРА № 3

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ отлично

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

	25.04.18г	Н.Н. Литвинова
должность, уч. степень, звание	подпись, дата	инициалы, фамилия

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ

по курсу: ОБЩАЯ ФИЗИКА

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. № ______

Санкт-Петербург 2018

Лабораторная работа №10.

Определение скорости звука в воздухе

Протокол измерений

Студент группы — Коробков. Д. В

Преподаватель — Литвинова Н. Н

Параметры приборов

Прибор	Предел измерения	Цена деления	Систематическая погр.
Генератор	99999 Гц	10 Гц	5 Гц
Линейка	64 см	1 см	2 мм

Результаты измерений

Частота $\nu_1 = 1500$ Гц $l_1 = 0,5$ см $l_2 = 11,2$ см $l_3 = 23$ см
$l_4 = 34,5$ см $l_5 = 46$ см $l_6 = 58$ см

Частота $\nu_2 = 1800$ Гц $l_1 = 1$ см $l_2 = 9$ см $l_3 = 19$ см
$l_4 = 28$ см $l_5 = 38$ см $l_6 = 48$ см $l_7 = 57$ см

Частота $\nu_3 = 2000$ Гц $l_1 = 2,5$ см $l_2 = 8$ см $l_3 = 16,8$ см
$l_4 = 25,5$ см $l_5 = 34$ см $l_6 = 43$ см
$l_7 = 51,5$ см $l_8 = 60$ см

Температура $t = 22°C$

Дата 11.04.18г

Подпись преподавателя

Подпись студента Дкоробков

1. Цель работы: определить скорость распространения звуковых волн в воздухе.

2. Описание лабораторной установки.

   Схема установки представлена на рисунке 1.

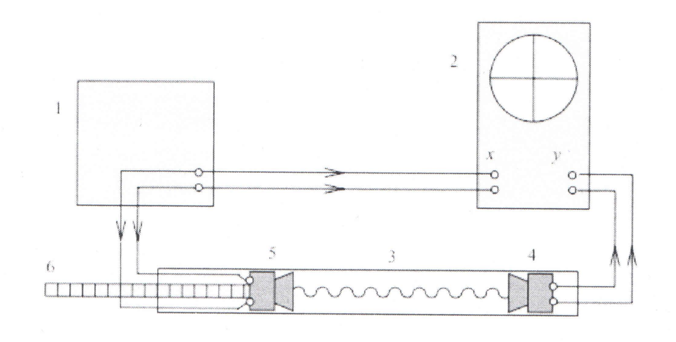


Рис. 1

1 – генератор;

2 – осциллограф;

3 – полая труба;

4 – микрофон;

5 – телефон;

6 – линейка.

Таблица 1

Параметры установки

Прибор	Предел измерений	Цена деления	Систематическая погрешность
Линейка	64 см	1 см	2 мм
Генератор	9999 Гц	10 Гц	5 Гц

3. Рабочие формулы.

$$\upsilon = \lambda * \nu = 2 * \Delta l_{\text{ср}} * \nu, \quad (1)$$

где υ – скорость звука в воздухе, $\Delta l_{\text{ср}}$ – средняя разница положений телефона при данной частоте, ν – частота колебаний.

$$\upsilon_{\text{теор}} = \sqrt{\frac{7*R*T}{5*M}}, \quad (2)$$

где T – абсолютная температура, R – универсальная газовая постоянная, M - молярная масса воздуха, $\upsilon_{\text{теор}}$ - теоретическая скорость звука в воздухе.

$$\text{T} = t + 273{,}15\ (K), \quad (3)$$

где t – температура в градусах Цельсия.

4. Результаты измерений и вычислений.

Таблица 2

Результаты измерений

$\nu_1 = 1500$ Гц.

№	1	2	3	4	5	6
l, см	0,5	11,2	23,0	34,5	46,0	58,0

Δl_1= 10,7 см; Δl_2= 11,8 см; Δl_3=11,5 см; Δl_4=11,5 см; Δl_5= 12,0 см.

$\Delta l_{ср}$ = 11,5 см; v_1= 345,0 м/с.

Таблица 3

Результаты измерений

$\nu_2 = 1800$ Гц.

№	1	2	3	4	5	6	7
l, см	1,0	9,0	19,0	28,0	38,0	48,0	57,0

Δl_1= 8,0 см; Δl_2= 10,0 см; Δl_3= 9,0 см; Δl_4= 10,0 см; Δl_5= 10,0 см, Δl_6 = 9,0 см.

$\Delta l_{ср}$ = 9,3 см; v_2= 336,0 м/с.

Таблица 4

Результаты измерений

$\nu_3 = 2000$ Гц.

№	1	2	3	4	5	6	7	8
l, см	2,5	8,0	16,8	25,5	34,0	43,0	51,5	60,0

Δl_1= 5,5 см; Δl_2= 8,8 см; Δl_3= 8,7 см; Δl_4= 8,5 см; Δl_5= 9,0 см; Δl_6= 8,5 см; Δl_7= 8,5 см.

$\Delta l_{ср}$= 8,2 см; v_3= 328,6 м/с.

t = 22°C; T=295,15 (K); $v_{теор}$=343,5 м/с; $v_{ср}$=336,5 м/с.

5. Примеры вычислений.

По формуле (1): $v = 2 * 0{,}115 * 1500 = 345$ м/с.

По формуле (2): $T = 22 + 273{,}15 = 295{,}15$ с.

По формуле (3): $v_{теор} = \sqrt{\frac{7*8{,}31*295{,}15}{5*0{,}0291}} = 343{,}5$ м/с.

6. Вычисление погрешностей.

6.1 Систематическая погрешность.

6.1.1 $\theta_l = 0{,}002$ м.

6.1.2 $\theta_\nu = 5$ Гц.

Вывод формулы для систематической погрешности косвенного измерения скорости звука в воздухе.

$$v = v(\Delta l_{ср}, \nu) = 2 * \Delta l_{ср} * \nu => \theta_v = v * \left(\frac{\theta_\nu}{\nu} + \frac{\theta_{\Delta l_{ср}}}{\Delta l_{ср}}\right);$$

Вычисление по выведенной формуле:

$$\theta_{v_1} = 345{,}0 * \left(\frac{5}{1500} + \frac{0{,}002}{0{,}115}\right) = 7{,}15 \text{ м/с.}$$

$$\theta_{v_2} = 336{,}0 * \left(\frac{5}{1800} + \frac{0{,}002}{0{,}093}\right) = 8{,}16 \text{ м/с.}$$

$$\theta_{v_3} = 328{,}6 * \left(\frac{5}{2000} + \frac{0{,}002}{0{,}082}\right) = 8{,}84 \text{ м/с.}$$

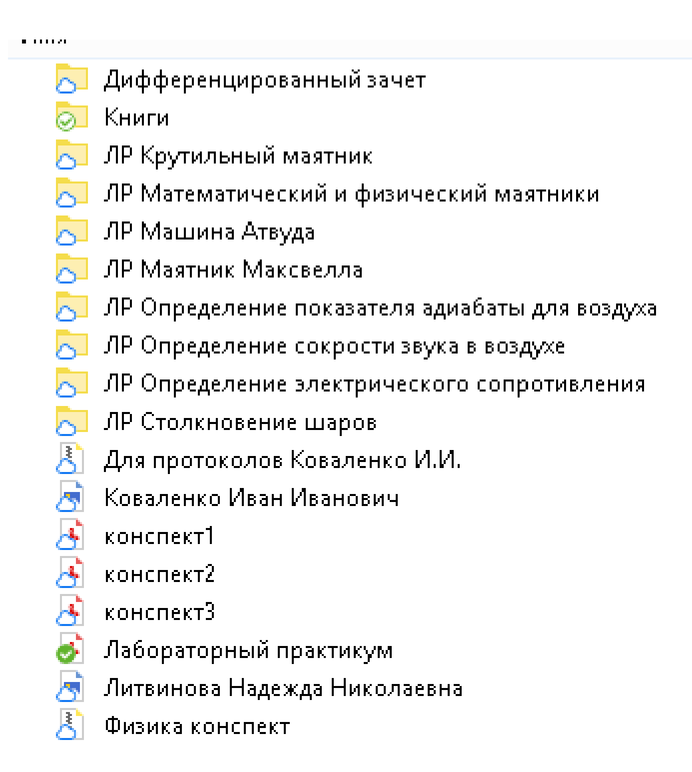
В качестве систематической погрешности итогового результата берем наи~~меньшее~~ большее значение $\theta_{v_3} = 9$ м/с.

6.3 Полная погрешность.

$\Delta v = \theta_v = 9$ м/с.

7. Выводы.

В данной лабораторной работе мы определили скорость распространения волн в воздухе. Полученное среднее значение скорости распространения звука в воздухе $v_{ср} = (337 \pm 9)$ м/с в пределах погрешности совпадает с теоретически полученным значением $v_{теор} = 344$ м/с.


Дифференцированный зачет
Книги
ЛР Крутильный маятник
ЛР Математический и физический маятники
ЛР Машина Атвуда
ЛР Маятник Максвелла
ЛР Определение показателя адиабаты для воздуха
ЛР Определение сокрости звука в воздухе
ЛР Определение электрического сопротивления
ЛР Столкновение шаров
Для протоколов Коваленко И.И.
Коваленко Иван Иванович
конспект1
конспект2
конспект3
Лабораторный практикум
Литвинова Надежда Николаевна
Физика конспект


ARCHIVE
INTERNET

Лабораторная работа № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ

Цель работы: определение скорости распространения звуковых волн в воздухе.

Теоретические сведения

Звуковые волны представляют собой процесс распространения механических колебаний с частотами в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц. Скорость звука υ связана с длиной волны λ и частотой колебаний ν соотношением:

$$\upsilon = \lambda\nu. \quad (10.1)$$

Скорость звука в воздухе можно теоретически рассчитать по формуле

$$\upsilon = \sqrt{\frac{7}{5}\cdot\frac{RT}{M}}, \quad (10.2)$$

в которой T – абсолютная температура; M = 0,0291 кг/моль – молярная масса воздуха; R = 8,314 Дж/К·моль – универсальная газовая постоянная.

Уравнение волны, распространяющейся вдоль оси (ox), имеет вид

$$\xi(x,t) = A\cos(\omega t - kx). \quad (10.3)$$

В этой формуле ξ – смещение точки среды из положения равновесия, находящегося на расстоянии x от источника; ω – циклическая частота колебаний; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число. Фаза колебаний

$$\varphi = \omega t - kx = \frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{\lambda} \quad (10.4)$$

зависит от времени и от положения точки. Разность фаз колебаний двух соседних точек зависит только от расстояния Δx между ними

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta x}{\lambda}. \quad (10.5)$$

Таким образом, длину звуковой волны можно найти, измерив на опыте величины Δx и $\Delta\varphi$. Разность фаз колебаний можно определить методом сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний.

Точка, совершающая одновременно два колебания во взаимно перпендикулярных направлениях, движется по замкнутым траекториям, называемым *фигурами Лиссажу*. В случае равенства частот эти фигуры представляют собой эллипсы, форма и ориентация которых зависит от амплитуд и от разности фаз складываемых колебаний.

Рассмотрим два гармонических колебания одинаковой частоты, одно из которых происходит вдоль оси (ox), а другое – вдоль (oy). Для простоты начальную фазу первого колебания положим равной нулю:

$$\begin{aligned} x &= A_1\cos(\omega t), \\ y &= A_2\cos(\omega t+\Delta\varphi). \end{aligned} \tag{10.6}$$

Уравнение траектории точки, одновременно участвующей в этих двух колебаниях, найдем, исключив время t из уравнений (10.6):

$$\begin{cases} x/A_1 = \cos\omega t, \\ y/A_2 = \cos\omega t\cos\Delta\varphi - \sin\omega t\sin\Delta\varphi; \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad y/A_2 = (x/A_1)\cos\Delta\varphi - \sin\Delta\varphi\sqrt{1-(x/A_1)^2}; \quad \Rightarrow$$

$$(x/A_1)^2 + (y/A_2)^2 - \frac{2xy\cos\Delta\varphi}{A_1A_2} = \sin^2\Delta\varphi. \tag{10.7}$$

Получилось уравнение наклонного эллипса, ориентация и полуоси которого зависят от амплитуд A_1, A_2 и от разности фаз $\Delta\varphi$ (рис. 10.1, *а*). Если $\Delta\varphi = 2\pi k$, где k – целое число, получим уравнение отрезка прямой, проходящего через 1-й и 3-й квадранты (рис. 10.1, *б*):

$$y = (A_2/A_1)x. \tag{10.8}$$

Если $\Delta\varphi = (2k+1)\pi$, где k – целое число, получим уравнение отрезка прямой, проходящего через 2-й и 4-й квадранты (рис. 10.1, *в*):

$$y = -(A_2/A_1)x. \tag{10.9}$$

Если $\Delta\varphi = (k+0{,}5)\pi$, где k – целое число, получим уравнение эллипса, ориентированного вдоль координатных осей (рис. 10.1, *г*):

$$\left(\frac{x}{A_1}\right)^2 + \left(\frac{y}{A_2}\right)^2 = 1. \tag{10.10}$$

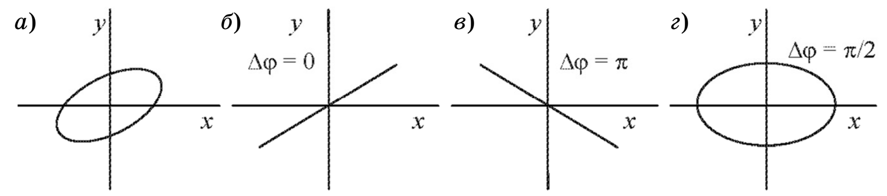


Рис. 10.1. Различные траектории движения точки

Таким образом, по форме наблюдаемого эллипса можно определить разность фаз колебаний $\Delta\varphi$. В дальнейшем особый интерес будут представлять случаи *б* и *в*, когда эллипс вырождается в отрезок. Эти случаи удобно наблюдать экспериментально. Существенно, что изменение фазы от одного из них к другому составляет $\Delta\varphi = \pi$.

В настоящей работе звуковой сигнал с телефона попадает на микрофон, находящийся на расстоянии ℓ от него. Сигналы с телефона и с микрофона подаются на отклоняющие пластины x и y электронного осциллографа соответственно. Расстояние ℓ можно изменять и измерять во время эксперимента; вместе с ним, согласно формуле (10.5), меняется и разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний телефона и микрофона. Поскольку по картинке на экране осциллографа можно зафиксировать лишь разности фаз $\Delta\varphi$ кратные π, при которых эллипс вырождается в отрезок, величина $n = \Delta\varphi/\pi$ на опыте должна принимать только целые значения. Она увеличивается на единицу всякий раз, когда при увеличении расстояния ℓ на экране эллипс превращается отрезок.

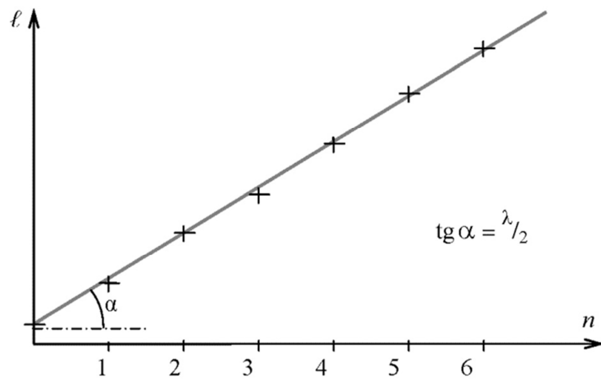


Рис. 10.2. Экспериментальная зависимость ℓ от n

С учетом сказанного формулу (10.5) можно переписать в виде

$$\Delta\ell = \frac{n\lambda}{2}. \tag{10.11}$$

Зависимость $\ell(n)$ наблюдаемая в опыте (рис.10.2), должна представлять собой прямую линию, по угловому коэффициенту ($k = \mathrm{tg}\alpha$) которой можно найти длину волны λ:

$$\lambda = 2\mathrm{tg}\alpha. \tag{10.12}$$

Подставив полученное таким способом значение длины волны λ и установленную на звуковом генераторе частоту колебаний в формулу (10.1), можно найти скорость звуковых волн.

Лабораторная установка

Блок-схема лабораторной установки приведена на рис. 10.3.

Электрические колебания звуковой частоты, полученные при помощи генератора 1, подаются одновременно на пластины x осциллографа 2 и на телефон 5. Звук от телефона распространяется вдоль полой трубы 3 и достигает микрофона 4. В электрической цепи микрофона возникает электрический сигнал на той же частоте, что и на выходе генератора, но с некоторой задержкой по фазе. Этот сигнал подается на пластины y осциллографа. На экране появляется эллипс, форма которого зависит кроме всего прочего от разности фаз колебаний, подаваемых на разные пластины осциллографа. При изменении расстояния, которое можно измерить линейкой 6, между телефоном и микрофоном изменяется разность фаз колебаний, а следовательно, и форма эллипса.

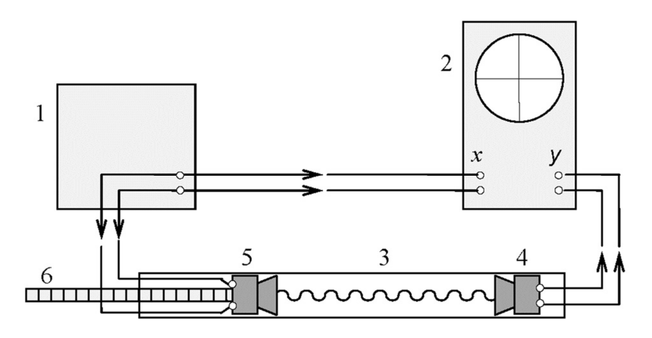


Рис. 10.3. Блок-схема лабораторной установки

Задания и порядок их выполнения

Задание 1. Экспериментальное определение скорости звуковых волн в воздухе.

До начала измерений нужно на 2–5 мин включить для прогрева осциллограф и звуковой генератор.

Задание выполняется в следующем порядке.

Установить заданную частоту колебаний.

Пользуясь ручками настройки осциллографа и изменяя величину выходного напряжения, добиться на экране осциллографа четкого, устойчивого эллипса.

Перемещая телефон по трубе, добиться появления на экране прямой линии. Отметить это положение на шкале как ℓ_1.

Медленно перемещая телефон в ту же сторону, снова получить на экране прямую линию, но уже наклоненную в другую сторону, т. е. проходящую через другие квадранты. Отметить соответствующее положение телефона как ℓ_2.

Повторить предыдущий пункт столько раз, сколько это возможно и получить набор положений телефона ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3, ..., в которых эллипс вырождается в отрезок прямой. Получить еще один такой же набор данных, перемещая телефон в обратном направлении, и усреднить результаты.

Построить график зависимости положения телефона ℓ_n, от порядкового номера n, как это показано на рис. 10.2.

Систематическую погрешность расстояния принять равной $\theta_\ell = 2$ мм. Систематическую погрешность θ_n, связанную с неточностью определения точки вырождения эллипса, не учитывать; $\theta_n = 0$.[1]

Графически найти длину звуковой волны λ и ее систематическую погрешность.

По формуле (10.1) найти скорость звуковых волн.

Повторить измерения для звукового сигнала другой частоты.

Задание 2. Теоретический расчет скорости звуковых волн в воздухе.

Вычисления нужно проводить по формуле (10.2), значения констант, необходимые для расчета, указаны в комментариях к формуле. Для определения температуры воздуха t °С нужно вос-

---

[1] В случае, когда эллипс не полностью вырождается в отрезок, следует считать $\theta_n = 0{,}1$.

пользоваться термометром. Абсолютную температуру T можно найти по формуле:

$$T(\text{К}) = t\ ^\circ\text{C} + 273{,}15\text{К}. \qquad (10.13)$$

Контрольные вопросы

1. Что называется звуковой волной?
2. Чем отличаются волновые процессы от колебательных?
3. Что такое длина волны и чему она равна?
4. Запишите уравнение бегущей волны и поясните смысл всех величин, в нее входящих.
5. От чего зависит фаза волны? Чему равна разность фаз колебаний двух точек?
6. Получите уравнения траектории точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях одинаковой частоты?
7. В каких случаях траектория вырождается в отрезок?
8. Как определяется длина звуковой волны в данной работе?
9. Как зависит скорость звука от температуры воздуха?